

Çok noktadan bağlı tanker-şamandıra bağlama sistemi seçiminde bulanık çok ölçütlü karar verme

Ayhan MENTEŞ*, İsmail Hakkı HELVACIOĞLU

İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Gemi ve Deniz Teknolojisi Mühendisliği Programı, 34469, Ayazağa, İstanbul

Özet

Çok noktalı tanker-şamandıra bağlama sistemi (spread mooring system), belirli coğrafik konumlarda, pek çok olası hava koşulu altında tankerlerin sabit bir konumda bağlanmasında kullanılan bir açık deniz yapısıdır. Bu sistemler, çeşitli su derinliklerinde kurulabilmeleri, değişik tonajdaki gemilerin bağlanmasına olanak sağlamaları ve uzun servis yaşamları nedeniyle oldukça yaygın bir şekilde kullanılan bağlama şeklidirler. Çok noktalı tanker-şamandıra bağlama sistemini tasarlarken, ilk yatırım maliyeti, işletme maliyeti, güvenilirlik, şamandıra bağlama donanımı özellikleri, işlem zamanı, bağlama yükü büyüklükleri vb. gibi sistem tasarımı üzerinde etkili olan pek çok öz niteliği dikkate almak gerekmektedir. İlk yatırım maliyeti gibi bazı öz nitelikler deterministik özellikler içerirken, güvenilirlik gibi bazı öz nitelikler ise bulanık özellikler içermektedirler. Bu nedenle, farklı coğrafik bölgelerde kullanılacak en uygun bağlama sisteminin seçim süreçlerinde, bu kararlara rehberlik edecek bir bulanık algoritmaya gereksinim vardır. Pek çok belirsizliğe sahip tanker-şamandıra bağlama sistemi konfigürasyonları arasında, en uygun bağlama sistemine karar vermek için, Bulanık Çok Ölçütlü Karar Verme yöntemlerinin kullanımı problemin bulanık doğası nedeniyle, uygun bir yaklaşım olacaktır. Bu çalışmanın amacı, çok noktalı tanker-şamandıra bağlama sistemleri için en uygun bağlama şekline karar verebilecek bir yöntem geliştirmektir. Önerilen yöntem, bulanık ortamda çok noktalı bağlama sistemi seçim işleminde, problemin çözümlemesi ve öz niteliklerin ağırlıklarının belirlenmesi aşamasında bulanık AHP (Analitik Hiyerarşi Süreci), bağlama sistemlerinin sıralanması ve seçimi aşamasında ise bulanık TOPSIS (İdeal Çözüm Benzerliği Tercih Sıralaması Tekniği) yöntemlerinden oluşur. Geliştirilen yöntem, endüstride pek çok karar verme probleminde rahatlıkla kullanılabilecek esnek bir yapıya sahiptir.

Anahtar Kelimeler: Çok noktalı bağlama sistemi, karar verme, bulanık çok öz nitelikli karar verme yöntemleri, tanker.

*Yazışmaların yapılacağı yazar Ayhan MENTEŞ. mentes@itu.edu.tr; Tel: (212) 285 63 93.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Gemi ve Deniz Teknolojisi Mühendisliği Programı'nda tamamlanmış olan "Açık deniz yapıları bağlama sistemlerinin dizaynında bulanık çok kriterli karar verme yöntemlerinin uygulanması" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 20.04.2010 tarihinde dergiye ulaşmış, 11.05.2010 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 30.06.2011 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

Bu makaleye "Menteş, A., Helvacioğlu, İ.H., (2011) 'Çok noktadan bağlı tanker-şamandıra bağlama sistemi seçiminde bulanık çok ölçütlü karar verme', İTÜ Dergisi/D Mühendislik, 10: 1, 68-80" şeklinde atıf yapabilirsiniz.

A fuzzy multiple attribute decision making approach for spread mooring system selection

Extended abstract

Decision-making is a procedure to find the best one among a set of feasible alternatives. All decision-making processes are basically fundamental activities of human being. They also become difficult processes in consequence of having multiple and conflicting criteria in vagueness and fuzziness. Decision-making procedures are usually called Multiple Criteria Decision Making (MCDM) and mostly involve Decision Makers' subjective judgments and preferences. Multiple Criteria Decision Making is classified into two categories depending on whether the problem is a selection problem or a design problem, namely, the Multiple Attribute Decision Making (MADM) and the Multiple Objective Decision Making (MODM) (Lai and Hwang, 1994). Multiple Attribute Decision Making methods evaluate and select the desired one from a finite number of alternatives, which are characterized by multiple attributes. Multiple Objective Decision Making consists of a set of conflicting goals that can not be achieved simultaneously. Usually Multiple Objective Decision Making concentrates on continuous decision spaces, has several objective functions and can be solved with mathematical programming techniques. The present Multiple Attribute Decision Making methods become defective when rates of a decision matrix used to solve of a problem are foggy. Whereas, most of the real life problems involve vagueness and fuzziness, and decision makers have difficulty to choose among the many alternatives and to specify the best alternative. Consequently, Fuzzy Multiple Attribute Decision Making (FMADM) techniques and methods have to be used to overcome the aforementioned difficulties. Fuzzy Multiple Attribute Decision Making presents its most powerful aspect by actualizing the complex systems which have uncertainty in their definitions. Fuzzy Multiple Attribute Decision Making has an advantage compared to the other techniques for the solution of systems which are most complex, ambiguous and uncured with traditional methods. The spread mooring system (or multiple point mooring system) is an offshore mooring system that allows a tanker to moor at a fixed geographic location at many possible weather conditions. These systems can be utilised extensively for the applications that require long service life for various sizes of vessels deployed at various water depths. There are several criteria affecting the design of a multiple point tanker-buoy mooring system such as

investment cost, operational cost, reliability, operation time, motion displacement etc. Some of these criteria like investment cost depends on deterministic factors while the others such as reliability has fuzzy parameters. Therefore, there is a requirement of a fuzzy algorithm that guides decisions to the most proper type of mooring system for different regions. The approach of using Fuzzy Multiple Attribute Decision Making will become the most proper method for tanker-buoy system configuration selection that has much uncertainty.

The objective of this research is to improve a methodology for selecting the most appropriate multiple point mooring system configuration for the gas companies situated near Yarımcı on the Eastern Marmara Sea Region in Turkey. For this purpose, Fuzzy Multiple Attribute Decision Making methods based on Fuzzy Set Theory are employed to select the best one of 12 different tanker-buoy mooring alternatives. Fuzzy Set Theory, which was first introduced by Zadeh (1965) to deal with the kind of qualitative, imprecise information or ill-structured decision problems, has been applied for modeling tool for complex systems in the recent years. Fuzzy expressions are more natural for humans than rigid mathematical rules and equations. In this study, proposed methodology is based on fuzzy AHP (Analytic Hierarchy Method) method in analyzing the structure of the mooring system selection problem and determining of the weights of the attributes, and fuzzy TOPSIS (Technique for Order Performance by Similarity to Ideal Solution) method for ranking the mooring systems in fuzzy environment. In the conclusion part of the study, the results of the fuzzy selection process is evaluated. The proposed hybrid Fuzzy Multiple Attribute Decision Making methodology results indicate that A10 (2 anchors and 3 aft buoy mooring) is the best alternative, so this alternative system has to be selected. These results show that the best multiple point tanker-buoy mooring system selection problem can be handled in a more flexible, robust and realistic way through the proposed solution methodology. Also, this methodology used for decision making problems has very versatile and flexible structure. Therefore, it can easily be used and applied with slight modifications in other marine technology related selection problems.

Keywords: Spread mooring system, decision making, fuzzy multiple attribute decision making methods, tanker.

Giriş

Çok noktalı bağlama sistemi, açık denizde demirlemiş tankerlerin kargo yükleme/boşaltma işlemleri için kullanılan bir sistemdir. Bu sistem; uzun servis ömrü, değişik su derinliklerinde kullanılabilme faydası, değişik tonajdaki tankernlere hizmet verebilme ve kısa zamanda yerleştirilebilme özellikleri ile yaygın bir bağlama şeklidir.

Endüstrinin pek çok uygulama alanında olduğu gibi, gemi ve deniz yapıları problemlerinin çözümünde de karar verme sürecinin önemi gün geçtikçe daha iyi bir şekilde anlaşılmaktadır. Karar verici (KV), geliştirilmiş olan pek çok karar verme algoritmalarından bir veya birkaçını kullanarak ya da yeni bir karar verme algoritması geliştirerek, çok sayıda ve birbirleriyle çelişen ölçütlerin ışığı altında, mevcut seçenekler arasından doğru seçimler yapmaya çalışır.

Çok Ölçütlü Karar Verme (ÇÖKV) teknikleri iki ana gruba ayrılır (Yoon ve Hwang, 1995): Çok Öz Nitelikli Karar Verme (ÇÖNKV) ve Çok Amaçlı Karar Verme (ÇAKV) (Lai ve Hwang, 1994). ÇÖNKV, eldeki çoklu ve çelişen ölçütlerle tanımlanan seçenekler arasında tercih yapılması esasına dayanır. ÇAKV ise, ÇÖNKV'den farklı olarak birbirleriyle çelişen amaçlar kümesiyle en iyi seçeneği tasarlamaya çalışır. Diğer bir deyişle ÇÖNKV önceden belirlenmiş seçenekler arasından en iyi seçeneği seçme işleminde kullanılırken, ÇAKV yeni bir sistem tasarlamak için kullanılır (Zimmermann, 1996).

Bir problemin çözümünde kullanılan karar matrisindeki oranların sözel ve/veya bulanık olduğu durumlarda mevcut ÇÖNKV yöntemleri yetersiz kalır. Belirsiz ve/veya bulanık verilere sahip olan problemlerin çözümünde bu nedenle Bulanık Çok Öz Nitelikli Karar Verme (BÇÖNKV) yöntemlerinin kullanılması önerilir (Bellman ve Zadeh, 1970). BÇÖNKV yöntemleri, olası pek çok seçim ölçütlerine bağlı, belirli bir grup seçenek arasından en uygun olanını seçmek için Bulanık Küme Teorisini (FST) kullanır. FST, deterministik olarak belirtmenin çok zor olduğu sistemleri modellemek için kullanılır. Bir yön-

tem olarak FST, bulanık, belirsiz veya eksik bilgiyi model formülasyonu ve seçim süreçlerine dahil eder.

Çok noktalı tanker-şamandıra bağlama sistemi tasarımı, gerek bağlama tipi, gerekse bölgedeki çevresel koşullara ait veriler göz önüne alınarak, bağlanan tankerin denizdeki hareketlerinin belirlenmesi, tasarlama yöntemlerinin uygulanması, malzeme seçimi, bakım ve bölge işlemlerinin tanımlanması, tankerin hareket miktarı, halat gerilmeleri vb. gibi pek çok faktör etkili olmaktadır. Bu faktörlerden bir kısmı deterministik özellikler içerirken (maliyet vb.), bir kısmı belirsiz veya bulanık değişkenler içermektedir (güvenilirlik vb.). Bu nedenle, bağlama sistemlerinin farklı bölgeler için en uygun şekline karar verebilecek, tasarlama seçeneklerini ve ölçütlerini hesaba katan, matematik modellere dayanan, petrol yükleme-boşaltma gibi kullanım amacına bağlı özellikleri kapsayan ve karar verme mekanizmasının içerisine sokabilen bir algoritmaya ihtiyaç vardır. Pek çok belirsizliğe sahip çevre şartlarına maruz kalan çok noktalı tanker-şamandıra bağlama sistemi seçiminde, klasik ÇÖNKV yöntemleri yerine, belirsiz ve/veya bulanık verileri hesaba katan BÇÖNKV yöntemlerini kullanmak daha uygun bir yaklaşım olacaktır. BÇÖNKV yöntemleri; tanımlamalarında belirsizlik ve bulanıklık bulunan karmaşık sistemlerin çözümündeki başarısı ile en güçlü yönünü ortaya koymaktadır. Çok karmaşık, belirsizlik içeren ve klasik ÇÖNKV yöntemleriyle oluşturulamayan sistemlerin oluşturulmasına ve çözümüne olanak tanıması BÇÖNKV yöntemlerinin kullanımını sürekli arttırmaktadır (Menteş, 2000).

Açık deniz bağlama sistemleri konusunda, mühendislikte uzman sistemler adı altında yapılan bir takım çalışmalar vardır:

Simoes ve diğerleri (2002) derin su kabulü altında bağlı bir kule tip yüzer üretim, depolama ve boşaltma gemisi (FPSO) ile bir servis gemisinin oluşturduğu sistemin dinamik davranışının modellenmesi ve yöntemi için zaman serisi yaklaşımı ve yapay sinir ağları (YSA) benzetimi şeklinde iki sinir ağları çözümünü kullanmışlar-

dır. Bu çalışmada, sistemin çarpışmasını önlemek için, hareket miktarlarını ve halat gerilme değerlerini YSA ile modellemişler ve elde edilen sonuçları karşılaştırmak için dinamik bir benzetim programı kullanmışlardır.

Yamamoto ve Morooka (2005), yarı batık platformların dinamik yerleştirme konumu problemi için bulanık denetleyiciyi kullanmışlardır.

Carbono ve diğerleri (2005) ve Shafieefar ve Rezvani (2007), yüzen platformların bağlama tasarım optimizasyonu ve hareket miktarlarının minimize edilmesi için genetik algoritma (GA)'yı kullanarak yeni bir usul geliştirmeye çalışmışlardır.

Shafieefar ve Rezvani (2007) hesaplamalarında Carbono ve diğerlerinin (2005) modellerine göre sistemi dinamik olarak modellemişlerdir. Sistemin dinamik hesaplarının elde edilmesi için de dinamik modelleme yapan bir program kullanmışlardır.

Yapılan bu çalışmalar dikkate alındığında, literatürde farklı bağlama şekillerini içeren (çapa ve bağlama halatı kombinasyonları) çok noktalı tanker-şamandıra bağlama sistemi seçiminde, ilk yatırım maliyeti, bakım-tutum-işletme masrafları, tanker geometrisi-ana boyutları-tonajı, tanker güverte donanımı özellikleri, halat gerilme büyüklükleri, şamandıra zincirleme donanımı özellikleri, işlem süresi, tanker hareket miktarı, güvenilirlik gibi deterministik-belirsiz-bulanık ölçütleri özünde barındıran öz nitelikleri hesaba katan ve bunun için BÇÖNKV yöntemlerini kullanan herhangi bir çalışma yapılmadığı görülmüştür. Yapılan bu çalışma ile bu açığının kapatılması hedeflenmiştir.

Bu çalışmanın amacı, Marmara Denizinin doğusunda Yarımca bölgesi civarında hizmet verecek çok noktalı tanker-şamandıra sistemi için, en uygun bağlama şeklini seçecek bir BÇÖNKV yöntemi geliştirmektir. Seçim işlemi için 12 farklı tanker-şamandıra bağlama şekli ve bu seçimde etkili olacak 9 öz nitelik kullanılmıştır. Ölçütlerin ve ölçüt bazında seçeneklerin ikili karşılaştırma matrislerinin elde edilebilmesi

için, alanında uzman karar vericilere bir dizi anket uygulanmış ve anketlerden elde edilen sonuçlar kullanılarak, ölçüt ve ölçüt bazında seçeneklerin oran ağırlıkları elde edilmiştir. Elde edilen ağırlıklar, bulanık AHP ve bulanık TOPSIS yaklaşımları kullanılarak en uygun bağlama şekli elde edilmeye çalışılmıştır.

Bulanık küme teorisi

Bulanık küme teorisi ve bulanık mantık kavramı ilk kez Zadeh (1965) tarafından ortaya atılmış ve hızla gelişerek birçok bilim adamının ilgisini çeken araştırmaya açık yeni bir bilim dalı olmuştur.

Bulanık küme teorisi temelde, insan düşünce ve algılarındaki belirsizliklerle ilgilenir ve bu belirsizlikleri sayısallaştırmaya çalışır. Bu teori, klasik matematiğin çok yetersiz kaldığı, özünde belirsizlik veya kesinlik içermeyen karar verme problemlerine kesinlik kazandırıp çözümdeki sorunları ortadan kaldıran kavramlar ve yöntemler sunmaktadır.

Bulanık mantık tanımlamalarında belirsizlik bulunan karmaşık sistemlerin gerçekleştirilmesindeki başarısı ile en güçlü yönünü ortaya koyar. Çok karmaşık, belirsizlik içeren ve geleneksel yöntemlerle oluşturulamayan sistemlerin oluşturulmasına ve çözülmesine olanak tanınması bulanık mantığın faydalarındandır. Ayrıca, bulanık mantığın insan düşünüş tarzına yakın olması, matematiksel modellere uyum sağlaması, uygulamalarının hızlı ve ucuz olması, insan davranışlarını formüle etmesi ve yeni gelişmelere açık olması bulanık mantığın en önemli faydaları arasındadır.

Üyelik fonksiyonu

Sözel (linguistic) ifadeler, genellikle yaklaşıklık ve bulanıklık anlamları içerdiğinden, bu ifadeler üzerinde matematiksel işlemler yapabilmek için bir küme ve bu kümeye ait olma üyelik fonksiyonu ile tanımlanmalıdırlar.

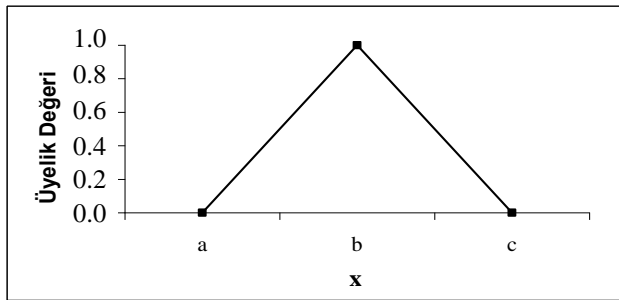
Üyelik fonksiyonu veya karakteristik fonksiyon, E evrensel kümesine ait bir x elemanının, A alt kümesine ait olma derecesini veren bir fonksi-

yondur ve $\mu_A(x)$ ile gösterilir. $\forall x \in E$ için $\mu_A(x) \in [0,1]$ olmaktadır. Burada $[0,1]$, 0'dan 1'e kadar olan kapalı aralığı temsil etmektedir. $\mu_A(x)$ altkümesi, bulanık alt küme veya bulanık küme olarak adlandırılır.

Bulanık sayılar

Klasik kümelerin üyelik fonksiyonları, bir nokta ya da bir doğru ile ifade edilirken bulanık kümelerin üyelik fonksiyonları nokta veya doğru olabildiği gibi doğrusal veya eğrisel bir fonksiyon şeklinde de ifade edilebilmektedir. Bulanık ortamda işlem yaparken sözel, sayısal vb. tüm veri değerlerinin bulanık sayı olarak ifade edilmesi gerekir. Bu verileri ifade etmek veya bulanık sayıya dönüştürmek için uygulamalarda en çok kullanılan bulanık sayılar üçgen veya yamuk bulanık sayılardır. Üçgen bulanık sayılar (a, b, c) şeklinde üç elemandan oluşan sayılardır. Şekil 1'de gösterilen üçgen bulanık sayı için üyelik fonksiyonu aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & x < a \\ \frac{x-a}{b-a} & a \leq x < b \\ \frac{c-x}{c-b} & b \leq x < c \\ 0 & x > c \end{cases} \quad (1)$$



Şekil 1. Üçgen bulanık sayı

Bulanık çok ölçütlü karar verme

Bellman ve Zadeh (1970), bulanık küme kavramını, ÇÖNKV çalışma alanına uygulamışlardır. Onlar, ÇÖNKV teknikleri ile çözilemeyen ya da kabul edilemeyen problemleri çözmek için, BÇÖNKV yöntemlerinin kullanılması gerektiğini ifade etmişlerdir.

Özünde bulanıklık içeren karar verme problemlerin çözümünde, seçeneklerin oranlaması ve sıralanması işlemlerinde, ÇÖNKV yöntemlerindeki deterministik yaklaşımlar yetersiz kalır. Gerçek dünyada verilen kararların çoğunda, ölçüt performansları nitel veya sözel terimler kullanılarak ifade edilirler. Klasik ÇÖNKV problemlerinin uygulaması, kesin olmayan veya doğuştan belirsizlik içeren ölçütlerden oluşan bu bilgiler nedeniyle imkansızdır (Kahraman, 2008).

Bulanık AHP yöntemi

Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP), karmaşık karar verme problemlerinin çözümünde kullanılan en yaygın analitik çözüm tekniklerden biri olup, Saaty (1980) tarafından geliştirilmiştir. Karmaşık bir problemi, sezgisel hiyerarşik bir yapı kullanarak formüle eden temellere dayanır. AHP'yi bilmek, hiyerarşik ağaç yapısını kullanarak çözülen problemleri anlamak açısından oldukça önem taşımaktadır.

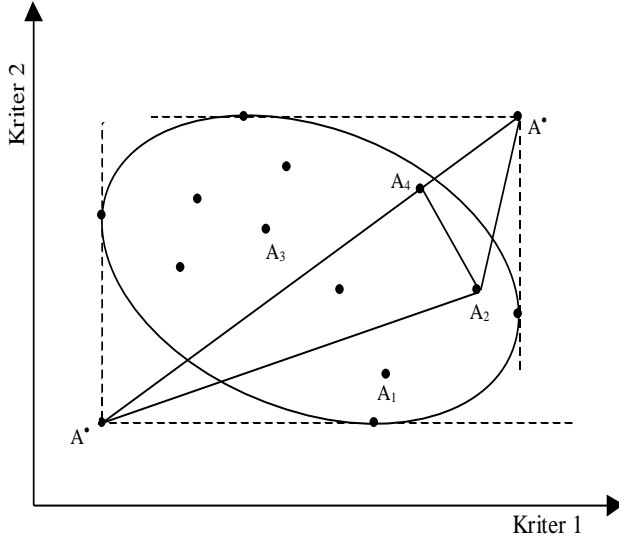
AHP'nin hiyerarşik ağaç yapısı en az üç seviyeden oluşur: En üst seviye de hedef, orta seviye de seçeneklerin değerlendirildiği öz nitelikler, en alt seviyede ise seçenekler yer almaktadırlar. Eğer öz nitelikler çok soyut veya geniş kapsamlı ise orta kademe daha fazla seviyeden oluşturulur. Çok sayıda fonksiyonel karakteristiklere sahip olması AHP'yi kullanışlı bir yöntem haline getirir. Bunlar; öznel muhakeme, çok sayıda karar vericiyi hesaba katma, tercih tutarlılığı (consistency of preference) yeteneği gibi özelliklerdir (Triantaphyllou, 2000). AHP, nesnel ve öznel öz nitelikleri hesaba katar.

Klasik AHP yönteminde, karar vericiler değerlendirmelerde bulunurken deterministik sayılar kullanılmaktadırlar. Gerçek dünya, pek çok eksik, belirsiz veya bulanık bilgileri içeren problemlerden oluşur. Bu nedenle bulanık küme teorisini içine alan bulanık AHP yöntemlerine geçiş bir zorunluluk haline gelmiştir.

Bulanık TOPSIS yöntemi

Bir ÇÖNKV problemde m adet seçenek ve bu seçeneklerin çözümünde kullanılan n adet öz nitelik, m noktalı ve n boyutlu bir uzay sistemi olarak düşünülebilir. Hwang ve Yoon (1981)

tarafından geliştirilen TOPSIS yöntemi tercih edilen seçeneğin, pozitif ideal çözüme en yakın, negatif ideal çözüme en uzak mesafede olmasını esas alır (Şekil 2).



Şekil 2. Pozitif ideal ve negatif ideal çözümlere yakınlık mesafeleri

Bir ideal çözüm, bütün öz-nitelikler bir arada düşünüldüğünde, ideal seviyelerin veya oranların toplanması olarak düşünülebilir. Ancak, ideal çözüm genelde ulaşılamaz ya da tatbik edilemez bir çözüm olabilmektedir. Bu nedenle TOPSIS yönteminde çözüme ulaşabilmek için, seçenekler arasından pozitif ideal çözüme en yakın, negatif ideal çözüme ise en uzak olan seçeneğin ön plana çıkartılması hedeflenir.

Chen ve Hwang (1992), Hwang ve Yoon (1981)'un klasik TOPSIS yöntemini bulanık mantık ortamına dönüştürmüşlerdir.

Bulanık AHP ve bulanık TOPSIS yöntemi

Literatürde sıklıkla kullanılan ve en çok bilinen karar verme yöntemlerinden ikisi bulanık AHP ve bulanık TOPSIS yöntemleridir. Bulanık AHP ve bulanık TOPSIS yöntemleri arasında iki temel fark vardır. Bunlar;

- AHP yöntemi, öz-nitelikler ve seçenekler için ikili karşılaştırmalar yapar. TOPSIS yönteminde ikili karşılaştırmalar yoktur.

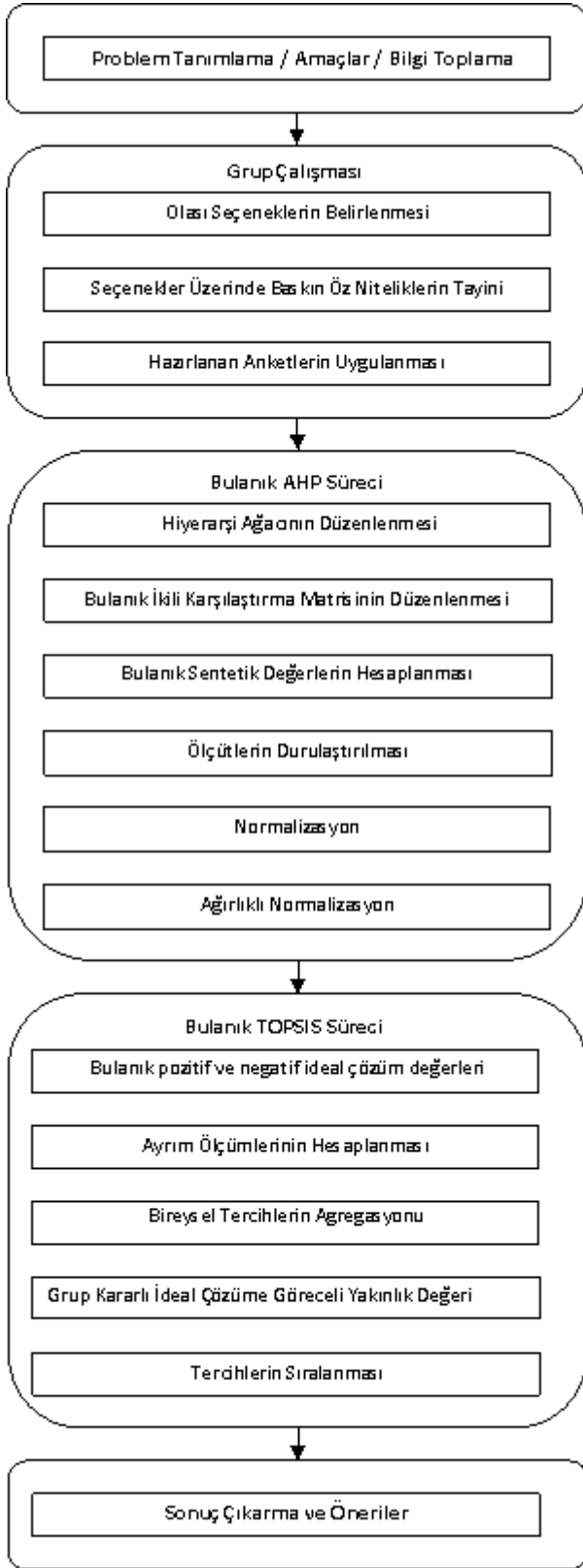
- AHP yöntemi öz-nitelik ve alternatifler için bir hiyerarşi kullanır. TOPSIS yönteminde bu hiyerarşi bulunmaz. Çok öz-nitelikli karar verme problemlerinin çözümünde kullanılan bu hiyerarşik yapı, AHP yöntemine büyük bir üstünlük verir. Geliştirilmiş bulanık TOPSIS yöntemleri, çok ölçütlü karar verme problemlerinin çözümünde bu hiyerarşileri kullanmaz. Bulanık TOPSIS yöntemi, seçeneklerin seçimi ve sıralanması safhasında üstünlüğünü ortaya koyar. Bu çalışma bu nedenle bulanık AHP ve bulanık TOPSIS tekniklerini kullanan melez bir çözüm yöntemi kullanmaktadır.

Önerilen yöntem

Gemi ve deniz yapıları karar verme problemlerinin çözümünde, bulanık AHP ve bulanık TOPSIS tekniklerinin birlikte kullanıldığı melez bir çözüm yöntemi önerilmiştir. Önerilen yöntem aşağıdaki adımlardan oluşur (Şekil 3).

- *Problem Tanımlama/Amaçlar/Bilgi Toplama:* Bu adımda BÇÖNKV problemi tanımlanır, amaçlar ve hedefler belirlenir. Uygulanacak karar verme problemiyle ilgili ön çalışma niteliğinde literatür/saha çalışması/uzman mülakatları vb. teknikler kullanılarak bilgi toplanır.
- *Olası seçeneklerin belirlenmesi:* Problem için mevcut seçenekler belirlenir.
- *Seçenekler üzerinde baskın öz niteliklerin tayini:* Tüm seçenekler üzerinde etkili öz nitelikler seçilir, sınıflandırılır (yarar, maliyet, vb.).
- *Hazırlanan anketlerin karar vericilere uygulanması:* Karar verme probleminin çözümü için uzman fikirleri ve ağırlıkları büyük bir önem taşır. Hazırlanan bir anketle uzmanların fikirleri alınır. Uzmanlardan seçenekleri ve ölçütleri değerlendirmeleri ve aralarında ikili karşılaştırma yapmaları istenir.
- *Hiyerarşi ağacının düzenlenmesi:* En üstte amaçlar, orta kademedeki öz nitelikler, en alt safhada da seçenekler olacak şekilde hiyerarşi ağacı düzenlenir.
- *Bulanık ikili karşılaştırma matrisinin düzenlenmesi:* Anketlerden elde edilen ikili karşılaştırma sonuçları matris formunda yazılır. Tüm ikili karşılaştırma oranları üçgen veya

yamuk ölçekler kullanılarak bulanık sayılara dönüştürülür.



Şekil 3. Bulanık çok öz nitelikli karar verme yöntemi

- *Bulanık sentetik değerlerin hesaplanması:* Bulanık sentetik değerlerin hesabında Chang (1992, 1996)'ın derece çözümleme yöntemi kullanılır. Bu yöntemde, i. objeye karşılık gelen bulanık sentetik derece değeri S_i ,

$$S_i = \sum_{j=1}^m A_{gi}^j \otimes \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m A_{gi}^j \right]^{-1} \quad (1)$$

şeklinde tanımlanır. Bu denklemdeki tüm A_{gi}^j değerleri üçgen bulanık sayılardır.

- *Öz niteliklerin durulaştırılması:* Durulaştırma, bulanık sayıların deterministik sayılar haline dönüştürülmesi işlemidir. Durulaştırma işlemi için Liou ve Wang (1992)'ın toplam integral değeri yöntemi kullanılır. Bu yöntemde, $\tilde{A} = (a, b, c)$ üçgen sayı ve α iyimserlik göstergesi olmak üzere,

$$I_T^\alpha(\tilde{A}) = \frac{1}{2} [\alpha a_3 + a_2 + (1 - \alpha) a_1] \quad (2)$$

şeklinde toplam integral değeri hesaplanır. Karar vericinin iyimserlik göstergesi olan α değeri $[0,1]$ aralığındadır.

- *Normalizasyon:* Bu aşamada, mevcut matrislerdeki öz nitelikler fayda/maliyet şekline göre normalizasyon işlemine tabi tutulur.
- *Ağırlıklı normalizasyon:* Normalizasyon işlemi ile her seçenek için elde edilen öz-nitelik ağırlıkları, durulaştırma işlemi ile elde edilen öz-nitelik ağırlıkları ile çarpılarak ağırlıklı normalize değer matrisi elde edilir.
- *Bulanık pozitif ideal çözüm (A^+) and bulanık negatif ideal çözüm (A^-) değerleri hesabı:* A^+ ve A^- değerleri denklem (3) kullanılarak hesaplanır.

$$A^+ = \left\{ \tilde{v}_1^+, \tilde{v}_2^+, \dots, \tilde{v}_j^+, \dots, \tilde{v}_n^+ \right\}$$

$$A^+ = \left\{ \left(\max_i \tilde{v}_{ij} \mid j \in J_1 \right), \left(\min_i \tilde{v}_{ij} \mid j \in J_2 \right) \right\}$$

$$A^- = \left\{ \tilde{v}_1^-, \tilde{v}_2^-, \dots, \tilde{v}_j^-, \dots, \tilde{v}_n^- \right\}$$

$$A^- = \left\{ \left(\min_i \tilde{v}_{ij} \mid j \in J_1 \right), \left(\max_i \tilde{v}_{ij} \mid j \in J_2 \right) \right\} \quad (3)$$

- *Ayrım ölçümlerinin hesaplanması:* A^+ ve A^- değerleri kullanılarak pozitif ve negatif ideal çözümden olan uzaklık değerleri hesaplanır. Ayrım ölçüsü, pozitif ideal çözümden ya da negatif ideal çözümden olan uzaklığı ifade eder. Seçenekler arasındaki uzaklık Vertex Yöntemi kullanılarak hesaplanır.

İki üçgen bulanık sayı $A_1 = (a_1, b_1, c_1)$ ve $A_2 = (a_2, b_2, c_2)$ olmak üzere, aralarındaki mesafe Vertex yöntemine göre aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanır.

$$d = \sqrt{\frac{1}{3}((a_1 - a_2)^2 + (b_1 - b_2)^2 + (c_1 - c_2)^2)} \quad (4)$$

Her seçeneğin bulanık pozitif ve negatif ideal çözümlere olan uzaklık değerleri D_i^+ ve D_i^- , Denklem 5 ve Denklem 6 kullanılarak hesaplanır.

$$D_i^+ = \sum_{j=1}^n d(v_{ij}, v_{ij}^+) \quad (5)$$

$$D_i^- = \sum_{j=1}^n d(v_{ij}, v_{ij}^-) \quad (6)$$

- *Bireysel Tercihlerin Agregasyonu:* Her karar verici için hesaplanan değerlerin geometrik ortalaması alınarak bireysel tercihler birleştirir. Bunun için Denklem 7 ve 8 kullanılır.

$$\overline{D_i^+} = \left(\prod_{j=1}^k D_{ij}^+ \right)^{1/k} \quad (7)$$

$$\overline{D_i^-} = \left(\prod_{j=1}^k D_{ij}^- \right)^{1/k} \quad (8)$$

- *Grup kararlı ideal çözüme göreceli yakınlık değeri:* Her seçenek için göreceli yakınlık değeri hesaplanır. Seçeneklerin göreceli yakınlığının büyük olması, daha fazla tercih edilmesini ifade etmektedir. İdeal çözüme i . seçeneğin göreceli yakınlığı, CC_i , Denklem 9 kullanılarak hesaplanır.

$$CC_i = \frac{\overline{D_i^-}}{\overline{D_i^+} + \overline{D_i^-}} \quad (9)$$

- *Tercihlerin sıralanması:* Seçeneklerin elde edilen göreceli yakınlık değerleri büyükten küçüğe ya da tersi sıralanarak tercihler belirlenir.
- *Sonuç Çıkarma ve Öneriler:* Karar verme problemi çözümünde elde edilen sıralama sonuçları değerlendirilerek, yorum ve önerilerde bulunulur.

Uygulama

Çok noktalı tanker-şamandıra bağlama sistemi seçimi için önerilen yöntemin uygulaması aşağıda verilmektedir.

- Marmara Denizi'nin doğusunda kurulup, tanker yükleme/boşaltma işlemlerinde kullanılacak en uygun çok noktalı bağlama sisteminin seçimi rüzgar, akıntı ve dalga gibi çevresel yüklerin sürekli ve değişen etkileri nedeniyle büyük bir öneme sahiptir. Amaç, en uygun bağlama sistemi seçimi için uygun bir bulanık karar verme yöntemi geliştirmektir. Önerilen bu yöntem, bölgede hizmet veren petrol şirketlerinin en uygun bağlama sistemini tasarlamaları ve kullanmalarına da hizmet verecektir.

Tablo 1. Tanker-şamandıra bağlama sistemi için bağlama seçenekleri

Seçenekler	Tanker-şamandıra bağlama şekli
A ₁	Başta 1 çapa ve kıçta 1 şamandıralı sistem
A ₂	Başta ve kıçta 1'er şamandıralı sistem
A ₃	Başta 1 şamandıra ve kıçta 2 şamandıralı sistem
A ₄	Başta 1 çapa ve kıçta 2 şamandıralı sistem
A ₅	Başta 2 şamandıra ve kıçta 2 şamandıralı sistem
A ₆	Başta 1 çapa, 1 şamandıra ve kıçta 2 şamandıralı sistem
A ₇	Başta 2 çapa ve kıçta 2 şamandıralı sistem
A ₈	Başta 1 çapa, 1 şamandıra ve kıçta 3 şamandıralı sistem
A ₉	Başta 2 çapa, 1 şamandıra ve kıçta 2 şamandıralı sistem
A ₁₀	Başta 2 çapa ve kıçta 3 şamandıralı sistem
A ₁₁	Başta 1 çapa, 2 şamandıra ve kıçta 3 şamandıralı sistem
A ₁₂	Başta 2 çapa, 1 şamandıra ve kıçta 3 şamandıralı sistem

- Çok noktalı tanker – şamandıra bağlama sistemi seçim probleminde, 12 farklı bağlama sistemi seçeneği düşünülmüştür (Tablo 1). Bu seçenekler, Türkiye’yi çevreleyen denizlerde kullanılan veya kullanılması muhtemel olan bağlama sistemlerini kapsamaktadır.
- Seçeneklerin seçiminde etkili 9 öz niteliğin genel karakteristikleri Tablo 2’de verilmektedir. Öz nitelikler 5 maliyet (C_1, C_2, C_5, C_7 ve C_8) ve 4 yarar/fayda (C_3, C_4, C_6 ve C_9) tipi öz niteliklerdir.

Tablo 2. Öz nitelik tanımlamaları

Öz nitelikler	Öz niteliklerin tanımlaması
C_1	Yatırım maliyeti
C_2	Bakım ve işletme masrafları
C_3	Tanker tonajı ve boyutları
C_4	Güverte donanımı özellikleri
C_5	Halat/Zincir gerilme miktarı
C_6	Şamandıra donanımı özellikleri
C_7	İşlem süresi
C_8	Tanker hareket miktarı
C_9	Güvenilirlik

- Seçeneklerin ve öz niteliklerin ağırlık tayini için 10 karar vericilerin görüşlerine başvurulmuş olup, bunlardan 4’ü bağlama sistemi tasarımcısı, 1’i bağlama operatörü, 5’i uzak yol tanker kaptanıdır. Söz konusu olan öz niteliklerin ve öz nitelik bazında seçeneklerin ikili karşılaştırma oranlarını elde etmek için bir anket hazırlanarak KV’lerden bu anketi doldurmaları istenmiştir. KV’lerden gelen ikili karşılaştırma oranları her KV için matris formunda oluşturulmuştur.
- Çok noktalı tanker-şamandıra bağlama sisteminde en uygun bağlama sisteminin seçim sürecinde, seçenek ve ölçütler belirlendikten sonra, üç seviyeden oluşan bir hiyerarşik yapı oluşturulmuştur (Şekil 4). Bu yapı, en üstte amaç / hedef, ikinci sırada öz nitelikler ve üçüncü sırada da olası bağlama seçeneklerinden oluşmaktadır.
- Uzmanlardan elde edilen sözel verilerin, bulanık ortamda çözümünü elde etmek için, bulanık sayılara dönüştürülmesi gerekir. Bunun için, Tablo 3’te verilen üçgen bulanık sayı ikili karşılaştırma ölçeği kullanılır.

Tablo 3. Üçgen bulanık sayı ikili karşılaştırma ölçeği

Bulanık sayı	Üçgen bulanık sayı
Eşit derecede önemli	(1.00,1.00,1.25)
Biraz daha önemli	(1.25,1.50,1.75)
Güçlü derecede önemli	(1.75,2.00,2.25)
Çok güçlü derecede önemli	(2.25,2.50,2.75)
Kesinlikle daha önemli	(2.75,3.00,3.00)

$A = (l, m, u)$ üçgen bulanık sayısı olmak üzere, uzman anketlerinden elde edilen öz nitelik ikili karşılaştırma matrisleri, her bir öz nitelik için toplam üçgen bulanık sayı değerlerine dönüştürülür. Tablo 4’de KV1 için bu değerler verilmiştir.

Tablo 4. KV1 için toplam üçgen bulanık sayı değerleri

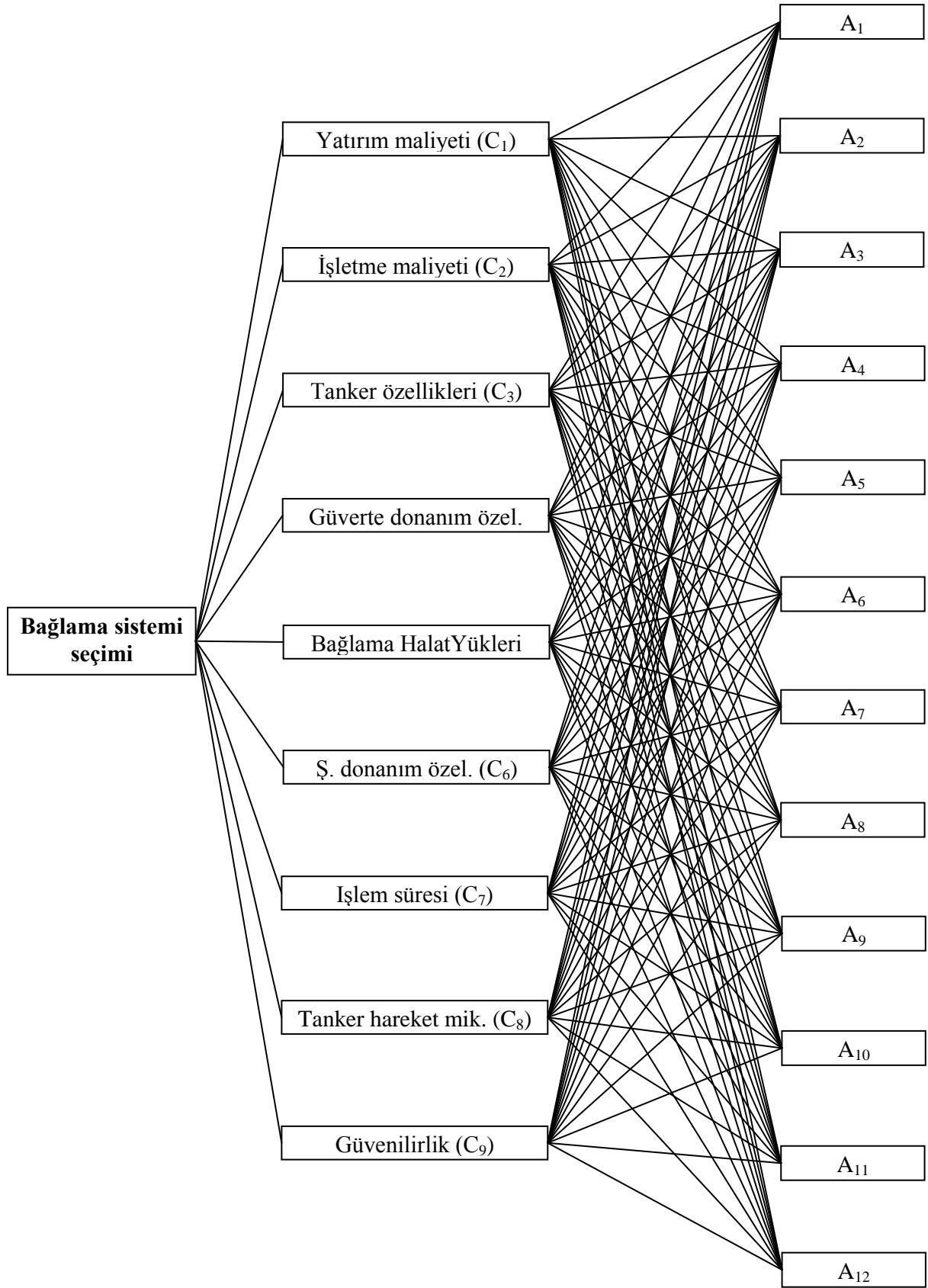
	l	m	u
C_1	17.0	21.0	25.0
C_2	6.3	6.6	7.0
C_3	6.3	6.6	7.0
C_4	6.3	6.6	7.0
C_5	7.3	8.1	9.0
C_6	11.0	13.2	15.5
C_7	12.0	14.7	17.5
C_8	7.0	7.2	7.5
C_9	15.3	18.9	22.5
Toplam	88.7	102.9	118.0

- Denklem (1) kullanılarak her bir öz nitelik için sentetik değerler elde edilir (Tablo 5).

Tablo 5. Öz niteliklerin sentetik değerleri

	l	m	u
S_{C1}	0.196	0.220	0.237
S_{C2}	0.054	0.056	0.071
S_{C3}	0.052	0.056	0.068
S_{C4}	0.051	0.056	0.066
S_{C5}	0.066	0.073	0.083
S_{C6}	0.119	0.132	0.146
S_{C7}	0.134	0.150	0.162
S_{C8}	0.051	0.062	0.067
S_{C9}	0.176	0.196	0.212

Denklem (2) kullanılarak öz niteliklerin ağırlık vektörleri hesaplanır (Tablo 6).



Şekil 4. Tanker-şamandıra sistemi seçimi hiyerarşi ağacı

Tablo 6. Öz nitelik uzman ağırlıkları

	V_{C1}	V_{C2}	V_{C3}	V_{C4}	V_{C5}	V_{C6}	V_{C7}	V_{C8}	V_{C9}
KV ₁	0.218	0.059	0.058	0.057	0.074	0.132	0.149	0.060	0.195
KV ₂	0.185	0.118	0.087	0.086	0.100	0.063	0.079	0.080	0.212
KV ₃	0.127	0.111	0.140	0.159	0.077	0.116	0.080	0.079	0.121
KV ₄	0.137	0.160	0.108	0.088	0.116	0.134	0.074	0.048	0.146
KV ₅	0.120	0.043	0.159	0.078	0.108	0.089	0.076	0.137	0.199
KV ₆	0.137	0.046	0.180	0.087	0.136	0.082	0.051	0.129	0.161
KV ₇	0.068	0.050	0.157	0.148	0.111	0.101	0.079	0.104	0.192
KV ₈	0.141	0.058	0.170	0.091	0.085	0.108	0.072	0.102	0.184
KV ₉	0.115	0.065	0.156	0.077	0.089	0.100	0.091	0.125	0.190

- Seçenek ağırlıkları, o öz niteliklerin ağırlıkları ile çarpılarak ağırlıklandırılmış normalize matris elde edilir.
- Elde edilen üçgen bulanık ikili karşılaştırma matrisleri her bir KV için normalize edilir.
- Her KV için (A^+) ve (A^-) değerleri ağırlıklı normalize matrisler ve denklem (3) kullanılarak hesaplanır.
- Her karar verici için ideal çözüme pozitif ve negatif uzaklık değerleri D^+ ve D^- denklem (5) ve (6) kullanılarak hesaplanmıştır (Tablo 7 ve Tablo 8).
- Seçeneklerin pozitif ve negatif ideal çözümleri, 10 KV için Denklem (7) ve (8) kullanılarak geometrik ortalamaları alınıp grup agregasyon mesafeleri elde edilir (Tablo 9).

- Her seçenek için Denklem (9) kullanılarak yakınsama katsayıları hesaplanılır (Tablo 9). Çok noktalı tanker-şamandıra bağlama sistemi seçeneklerinden, baştan 2 çapa ve kıçtan 3 şamandıra ile bağlı sistem (A_{10}), hesaplamalarda en iyi bağlama şekli olarak bulunmuştur.

Sonuçlar

Bu çalışmada, çok noktalı tanker-şamandıra bağlama sistemlerinde en uygun bağlama şeklinin seçimi için bir BÇÖNKV yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntem problem değerlendirme, hiyerarşi ağacının kurulması, en uygun bağlama şeklinin seçimi ve seçeneklerin tercih sıralaması aşamalarında bulanık AHP ve bulanık TOPSIS yöntemlerini kullanan melez bir yapıya sahiptir.

Tablo 7. Pozitif ideal çözüme olan uzaklıklar

	D^+									
	KV ₁	KV ₂	KV ₃	KV ₄	KV ₅	KV ₆	KV ₇	KV ₈	KV ₉	KV ₁₀
A ₁	0.426	0.310	0.336	0.289	0.521	0.418	0.496	0.438	0.433	0.420
A ₂	0.487	0.290	0.466	0.424	0.504	0.458	0.508	0.451	0.448	0.481
A ₃	0.515	0.278	0.502	0.436	0.483	0.454	0.484	0.346	0.296	0.449
A ₄	0.541	0.277	0.398	0.377	0.430	0.426	0.469	0.278	0.277	0.415
A ₅	0.499	0.260	0.365	0.353	0.373	0.361	0.295	0.206	0.191	0.382
A ₆	0.474	0.229	0.307	0.322	0.330	0.335	0.283	0.193	0.177	0.346
A ₇	0.470	0.206	0.265	0.321	0.247	0.173	0.255	0.164	0.147	0.235
A ₈	0.414	0.196	0.275	0.356	0.212	0.232	0.275	0.189	0.188	0.268
A ₉	0.461	0.210	0.372	0.358	0.189	0.203	0.210	0.134	0.181	0.214
A ₁₀	0.325	0.175	0.250	0.319	0.115	0.075	0.103	0.089	0.131	0.166
A ₁₁	0.398	0.230	0.249	0.324	0.107	0.115	0.109	0.096	0.103	0.116
A ₁₂	0.405	0.193	0.380	0.338	0.135	0.090	0.108	0.096	0.105	0.109

Tablo 8. Negatif ideal çözüme olan uzaklıklar

	D^-									
	KV ₁	KV ₂	KV ₃	KV ₄	KV ₅	KV ₆	KV ₇	KV ₈	KV ₉	KV ₁₀
A ₁	0.329	0.189	0.359	0.344	0.112	0.136	0.127	0.129	0.12	0.178
A ₂	0.265	0.206	0.231	0.209	0.127	0.099	0.115	0.116	0.109	0.118
A ₃	0.239	0.218	0.180	0.168	0.148	0.101	0.140	0.214	0.257	0.150
A ₄	0.214	0.219	0.283	0.228	0.198	0.128	0.155	0.281	0.275	0.183
A ₅	0.256	0.236	0.275	0.225	0.255	0.191	0.324	0.353	0.362	0.215
A ₆	0.279	0.267	0.331	0.255	0.297	0.217	0.336	0.365	0.375	0.251
A ₇	0.283	0.290	0.394	0.283	0.380	0.377	0.364	0.394	0.405	0.361
A ₈	0.339	0.297	0.354	0.209	0.417	0.319	0.344	0.369	0.365	0.327
A ₉	0.291	0.284	0.251	0.233	0.439	0.347	0.408	0.424	0.371	0.380
A ₁₀	0.425	0.318	0.411	0.285	0.512	0.474	0.515	0.469	0.421	0.429
A ₁₁	0.352	0.267	0.375	0.242	0.518	0.436	0.509	0.463	0.450	0.477
A ₁₂	0.347	0.302	0.244	0.255	0.490	0.460	0.511	0.462	0.448	0.483

Tablo 9. Grup mesafeleri, yakınsama katsayıları ve seçeneklerin sıralanması

Seçenekler	Grup agregasyon mesafeleri		Yakınsama katsayısı	Sıralama
A ₁	0.402	0.183	0.313	10
A ₂	0.447	0.150	0.251	12
A ₃	0.415	0.175	0.297	11
A ₄	0.379	0.210	0.357	9
A ₅	0.316	0.264	0.455	8
A ₆	0.288	0.293	0.561	7
A ₇	0.235	0.350	0.599	4
A ₈	0.252	0.329	0.567	6
A ₉	0.236	0.335	0.587	5
A ₁₀	0.155	0.419	0.731	1
A ₁₁	0.161	0.397	0.712	2
A ₁₂	0.164	0.387	0.702	3

Bu çalışma; son derece çoklu, birbirleriyle çelişen ve klasik ÇÖNKV yöntemleriyle çözümü mümkün olmayan bulanık öz niteliklere sahip bağlama sistemlerinde, en uygun bağlama şeklinin seçimi için pratik ve etkili bir yöntemdir. Bu melez yöntem kullanılarak, BÇÖNKV problemleri rahatlıkla bulanık ortamda işlenebilmekte ve etkin bir şekilde çözülebilmektedir. Önerilen yöntem, endüstride bulanık değişkenlerin etkin olduğu çok ölçütlü karar verme problemlerinin çözümünde rahatlıkla kullanılabilecek esnek bir yapıya sahiptir.

Çok noktalı tanker-şamandıra bağlama sisteminde en uygun sistemin seçiminde elde edilen

tercih edilme puanlara karşılaştırıldığında; A₁₀ (2 çapa ve 3 şamandıralı system) daha az bağlama hattına sahip olmasına rağmen, A₁₁ (1 çapa ve 5 şamandıralı sistem) ve A₁₂ (2 çapa ve 4 şamandıralı sistem) seçeneklerine göre tercih edilmektedir. Aynı şekilde, A₇ (2 çapa ve 2 şamandıralı sistem) daha az bağlama hattına sahip olmasına rağmen, A₈ (1 çapa ve 4 şamandıralı sistem) ve A₉ (2 çapa ve 3 şamandıralı sistem) seçeneklerine göre tercih edilmektedir. Ayrıca, beş noktadan bağlı sistemlerde; A₁₀ (iki çapalı sistem), A₈ (tek çapalı sistem)'e göre, dört noktadan bağlı sistemlerde A₇ (iki çapalı sistem), A₅ ve A₆ (tek çapalı sistem)'e göre tercih edildiği görülmektedir.

Kaynaklar

- Bellman, R.E. ve Zadeh, L.A., (1970). Decision-making in a fuzzy environment, *Management Science*, 17, 4, B-141-164.
- Carbono, A.J.J., Menezes, I.F.M. ve Martha, L.F., (2005). Mooring pattern optimization using genetic algorithms, *6th World Congress of Structural and Multidisciplinary Optimization*, Brazil.
- Chang, D.Y., (1996). Application of the extent analysis method on fuzzy AHP, *European Journal of Operational Research*, 3, 649-655.
- Chen, S.J. ve Hwang, C.L., (1992). *Fuzzy multiple attribute decision making methods and applications*, Springer-Verlag, New York.
- Hwang, C.L. ve Yoon, K.P., (1981). *Multiple attribute decision making: Methods and applications*, Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg/New York.

- Kahraman, C., (2008). *Fuzzy multi-criteria decision-making, theory and applications with recent developments*, Springer, USA.
- Lai, Y.J. ve Hwang, C.L., (1994). *Fuzzy multiple objective decision making: Methods and applications*, Springer-Verlag, Berlin.
- Liou, T.S. ve Wang, M.J., (1992). *Ranking fuzzy numbers with integral value*, *Fuzzy Sets And Systems*, **50**, 247-255.
- Menteş, A., (2000). Manevra ve sevk sistemi seçiminde bulanık çok kriterli karar verme, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul, Türkiye.
- Saaty, T.L., (1980). *The analytical hierarchy process*, McGraw-Hill, New York.
- Shafieefar, M. ve Rezvani, A., (2007). Mooring optimization of floating platforms using a genetic algorithm, *Ocean Engineering*, **34**, 1413-1421.
- Simoes, M. G., Tiquilloca, J. L. M. ve Morishita, H. M., (2002). Neural-network-based prediction of mooring forces in floating production storage and offloading systems, *IEEE Transactions on Industry Applications*, **38**, No.2, March/April.
- Triantaphyllou, E., (2000). *Multi-criteria decision making methods: Comparative study*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Yamamoto, M. ve Mooroka, K. (2005). Dynamic positioning system of semi-submersible platform using fuzzy control, *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Science & Engineering*, **XXVII**, No.4/449.
- Yoon, K. ve Hwang, C.L., (1995). *Multiple attribute decision making: An introduction*, Sage Publications, USA.
- Zadeh, L.A., (1965). *Fuzzy sets, Information and Control*, **8**, 338-353.
- Zimmermann, H.J. (1996). *Fuzzy set theory and its applications*, Kluwer, Massachusetts.